

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①① N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 792 722

②① N° d'enregistrement national : 99 05204

⑤① Int Cl⁷ : G 01 C 19/56

①②

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 23.04.99.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 27.10.00 Bulletin 00/43.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : SAGEM SA Société anonyme — FR.

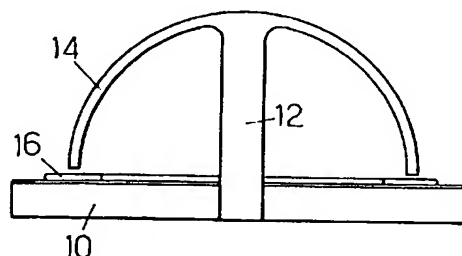
⑦② Inventeur(s) : JEANROY ALAIN et LEGER PIERRE.

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : CABINET PLASSERAUD.

⑤④ CAPTEUR GYROSCOPIQUE ET APPAREIL DE MESURE DE ROTATION EN COMPORTANT APPLICATION.

⑤⑦ Le capteur gyroscopique comprend un résonateur
(14) en forme de cloche ou de calotte de révolution, fixé sui-
vant son axe et présentant un bord circulaire situé dans un
plan perpendiculaire à l'axe, à distance du point de fixation
du résonateur dans le sens axial. Un substrat (10) porte des
moyens de détection et d'excitation coopérant avec le réso-
nateur. Ces moyens de détection et d'excitation coopèrent
avec une composante axiale d'une vibration du résonateur.



FR 2 792 722 - A1



CAPTEUR GYROSCOPIQUE ET APPAREIL DE MESURE DE ROTATION
EN COMPORTANT APPLICATION

La présente invention concerne de façon générale les
5 capteurs gyroscopiques ayant un élément mécanique, appelé
résonateur, capable de vibrer sur une résonance mécanique,
des détecteurs sensibles à une élongation donnée par la
vibration au résonateur et des transducteurs d'application
de forces au résonateur et plus particulièrement les
10 capteurs gyroscopiques dont le résonateur, en forme de
cloche ou de calotte de révolution, est fixé suivant son axe
et présente un bord circulaire situé dans un plan
perpendiculaire à l'axe, à distance du point de fixation
dans le sens axial.

15 On connaît déjà des capteurs gyroscopiques utilisant un
tel résonateur. On trouvera des exemples de réalisation dans
le brevet US 4 157 041 (General Motors Corporation) et le
brevet US 4 951 508. En général, le résonateur est constitué
par une calotte hémisphérique en silice, permettant
20 d'obtenir des facteurs de qualité très élevés, pouvant
dépasser 5.10^6 . Les détecteurs, de nature capacitive, sont
placés de façon que l'élongation de la vibration du
résonateur dans le sens radial modifie la distance inter-
électrodes. Les transducteurs destinés à exciter la
25 résonance sont placés pour exercer des forces
électrostatiques au moins dans deux directions radiales
particulières où l'élongation est détectée par variation de
la distance inter-électrodes.

Pour obtenir une efficacité suffisante de la détection
30 et de l'excitation, les entrefers du détecteur et les
transducteurs doivent être faibles. Dans la pratique, on

place les électrodes fixes des transducteurs et détecteurs sur des pièces sphériques, concaves ou convexes suivant qu'elles sont à l'extérieur ou à l'intérieur du résonateur, ajustées pour définir des entrefers. Il n'est pratiquement pas possible de descendre au-dessous de 100 à 200 μm .

La réalisation d'un tel capteur est très coûteuse. L'obtention d'entrefers faibles et identiques entre les pièces sphériques exige une précision importante de fabrication et une concentricité précise. Il est beaucoup plus difficile de réaliser des électrodes sur des surfaces sphériques que sur des surfaces planes. Les tracés conducteurs destinés à constituer les liaisons électriques et des électrodes de garde éventuelles autour des électrodes de détecteur et de transducteur sont également difficiles à réaliser, en trois dimensions. Il faut enfin que les coefficients de dilatation thermique du résonateur et de la pièce sphérique qui porte les électrodes fixes soient adaptés.

Toutes ces contraintes ont jusqu'à présent limité l'emploi des capteurs à résonateur en forme de calotte ou de cloche à des applications haut de gamme, pour lesquelles on peut tolérer un coût élevé.

La présente invention vise à fournir un capteur gyroscopique du genre ci-dessus défini, réalisable à un coût beaucoup plus faible que ceux qui existent à ce jour.

Pour arriver à ce résultat, l'invention fait usage d'une constatation négligée jusqu'à présent, à savoir que le bord d'un résonateur en forme de cloche ou de calotte, excité suivant un mode de vibration provoquant une déformation avec des composantes radiales et tangentielles, présente également une composante de déplacement parallèle à l'axe du résonateur. Dans le cas particulier d'un résonateur

hémisphérique, on verra que l'amplitude du déplacement axial est égale à la moitié de l'amplitude du déplacement radial.

L'invention propose notamment un capteur ayant :

5 - un résonateur en forme de cloche ou de calotte de révolution, fixé suivant son axe et présentant un bord circulaire situé dans un plan perpendiculaire à l'axe, à distance du point de fixation du résonateur dans le sens axial,

10 - et un substrat portant des moyens de détection et d'excitation coopérant avec le résonateur.

caractérisé en ce que les moyens de détection et d'excitation coopèrent avec une composante axiale d'une vibration du résonateur.

15 Dans un mode avantageux de réalisation, ces moyens comprennent des détecteurs et des transducteurs qui peuvent être placés sur le substrat, qui est orthogonal à l'axe, en face du bord conducteur du résonateur.

20 Les détecteurs et/ou transducteurs peuvent avoir diverses constitutions connues. Ils peuvent comporter des électrodes coopérant avec le résonateur pour constituer des détecteurs capacitifs et des électrodes coopérant avec le résonateur pour constituer des transducteurs capacitifs d'excitation.

25 Les moyens de détection et d'excitation peuvent être constitués par les mêmes composants, travaillant en temps partagé ou utilisant une modulation de porteuses à des fréquences différentes. La détection des déplacements en présence du signal d'excitation peut s'effectuer alors par détection synchrone. Par ailleurs, les détecteurs et/ou
30 transducteurs peuvent être de nature autre qu'électrostatique.

Le fond du résonateur est avantageusement fixé sur le

substrat par des moyens en un matériau ayant sensiblement le même coefficient de dilatation que le résonateur, de façon à rendre le capteur très peu sensible aux variations de température.

5 On voit que le capteur suivant l'invention utilise la composante axiale du déplacement du bord du résonateur pour détecter l'amplitude de la vibration aux points de mesure et également pour exciter cette dernière.

10 Lorsque le résonateur n'est pas hémisphérique, l'amplitude du déplacement axial du bord n'est plus forcément égale à la moitié de l'amplitude radiale. En particulier, l'amplitude des déformations axiales du bord diminue lorsque la profondeur (longueur axiale) du résonateur augmente à partir de la forme hémisphérique.

15 Dans la pratique, on adoptera un entrefer au repos compris entre 5 μm et 100 μm , généralement entre 5 et 20 μm , c'est-à-dire des valeurs qui peuvent être respectées beaucoup plus facilement dans le cas de surfaces planes en regard que dans le cas de surfaces sphériques. Pour
20 conserver des dimensions acceptables, on utilisera généralement un résonateur ayant une fréquence propre inférieure à 10 kHz. Il est souhaitable de placer le capteur sous vide pour réduire l'amortissement.

25 Le résonateur peut présenter une épaisseur de paroi constante. Il peut également présenter une épaisseur accrue dans la partie proche du bord, de façon à augmenter la surface efficace des électrodes portées par le substrat. Les électrodes placées sur le substrat présenteront
30 avantageusement une dimension radiale supérieure à celle du bord du résonateur, de façon qu'elles débordent de chaque côté et qu'un léger décentrage soit sans effet sur la mesure.

Les caractéristiques ci-dessus, ainsi que d'autres, apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit de modes particuliers de réalisation, donnés à titre d'exemples non limitatifs. La description se réfère aux
5 dessins qui l'accompagnent, dans lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement un résonateur hémisphérique et indique les paramètres qui interviennent dans la vibration.

10 - la figure 2 montre des formes extrêmes prises lors des vibrations d'ordre 2 d'un résonateur du genre montré en figure 1, les déformations étant très exagérées pour plus de clarté ;

- la figure 2A montre, suivant un plan à 45° de celui de la figure 2, une forme extrême que peut prendre le
15 résonateur ;

- la figure 3 montre un mode de montage possible d'un résonateur sur un substrat ;

- la figure 4 est un schéma en plan montrant une disposition possible des électrodes, des transducteurs et
20 des détecteurs sur le substrat ;

- les figures 5 et 6 sont des schémas montrant des variantes de réalisation du résonateur ; et

- la figure 7 montre schématiquement, en plan, un jeu d'électrodes de condensateur utilisable comme détecteur, à
25 la place des électrodes de la figure 4.

Avant de décrire une constitution matérielle du capteur gyroscopique, il convient de montrer que la déformation d'un résonateur en forme de calotte ou de cloche est complexe, et ne peut être regardée comme conduisant à une oscillation
30 purement radiale et tangentielle du bord.

En coordonnées sphériques, et avec les notations montrées sur la figure 1, les équations analytiques pour le

mode $n = 2$ (c'est-à-dire le mode de base) sont les suivantes :

$$u = A \sin \alpha \operatorname{tg}^2 \alpha / 2 \cos 2(\varphi - \varphi_0) \sin \omega(t - t_0) + B \sin \alpha \operatorname{tg}^2 \alpha / 2 \sin 2(\varphi - \varphi_0) \cos \omega(t - t_0)$$

$$v = A \sin \alpha \operatorname{tg}^2 \alpha / 2 \sin 2(\varphi - \varphi_0) \sin \omega(t - t_0) - B \sin \alpha \operatorname{tg}^2 \alpha / 2 \cos 2(\varphi - \varphi_0) \cos \omega(t - t_0)$$

$$w = A (2 + \cos \alpha) \operatorname{tg}^2 \alpha / 2 \cos 2(\varphi - \varphi_0) \sin \omega(t - t_0) + B (2 + \cos \alpha) \operatorname{tg}^2 \alpha / 2 \sin 2(\varphi - \varphi_0) \cos \omega(t - t_0)$$

A l'équateur, $\alpha = 90^\circ$ et les équations deviennent :

$$u = A \cos 2(\varphi - \varphi_0) \sin \omega(t - t_0) + B \sin 2(\varphi - \varphi_0) \cos \omega(t - t_0)$$

$$v = A \sin 2(\varphi - \varphi_0) \sin \omega(t - t_0) - B \cos 2(\varphi - \varphi_0) \cos \omega(t - t_0)$$

$$w = A 2 \cos 2(\varphi - \varphi_0) \sin \omega(t - t_0) + B 2 \sin 2(\varphi - \varphi_0) \cos \omega(t - t_0)$$

Dans ces formules, u , v et w désignent l'amplitude du déplacement axial, du déplacement tangentiel et du déplacement radial. φ désigne l'azimut.

La figure 2 montre, respectivement en traits pleins et en traits mixtes, des formes successives prises par le résonateur en vibration et fait apparaître l'existence d'un élongation axiale moitié de l'élongation radiale.

A ce jour, c'est le déplacement radial w qui est utilisé. Au contraire, l'invention propose d'utiliser le déplacement axial u . L'amplitude de ce déplacement est égale, dans le cas d'un résonateur hémisphérique, à la moitié de l'amplitude du déplacement radial w , ce qui semble à première vue un défaut.

Mais en réalité, cette diminution de l'amplitude à

mesurer est plus que compensée par des caractéristiques très favorables. Du fait que l'entrefer (distance inter-électrodes) est plan, il peut être défini de façon précise, par exemple à l'aide de cales d'épaisseur, lors du montage du résonateur sur un substrat. On peut réduire sans difficulté la valeur de l'entrefer jusqu'à une valeur de 10 à 20 μm , dix fois plus faible que dans le cas d'une architecture classique. L'efficacité des transducteurs et des détecteurs est en première approximation proportionnelle à la surface des électrodes divisée par le carré de l'entrefer. On voit donc l'intérêt de la solution proposée, qui permet de diminuer notablement l'entrefer. Comme la valeur de l'entrefer intervient par son carré, la diminution de l'entrefer permet de compenser, et au-delà, la plus faible surface active des électrodes.

Le capteur représenté dans la figure 3 comporte un substrat 10 auquel est fixé, par une tige 12, le résonateur 14. Afin que la dimension de l'entrefer varie peu en température, il est préférable de constituer la tige support 12 du même matériau que le résonateur ou d'un matériau ayant un coefficient de dilatation thermique voisin.

On peut constituer le résonateur en silice, ce qui permet d'obtenir des coefficients de surtension élevés, avec un revêtement métallique conducteur. Ce revêtement métallique peut être limité à un anneau recouvrant le bord du résonateur et à des pistes métallisées de mise à un potentiel de référence, qui peut être un potentiel constant (en général la masse) ou un potentiel ajustable. Souvent il sera possible, par un simple traitement de surface chimique de la silice, d'obtenir un degré de qualité de la surface sphérique suffisant pour obtenir une surtension élevée, ce qui écarte l'étape de polissage nécessaire avec la

disposition traditionnelle.

Mais, étant donné que le rendement des transducteurs d'excitation est supérieur à celui des montages habituels, on peut également utiliser un résonateur métallique dont le coût de réalisation est plus faible. La tige 12, lorsqu'elle est constituée du même matériau que le résonateur, peut être d'une seule pièce avec ce dernier et être encastrée dans le substrat 10.

Le substrat peut être constitué d'une pièce métallique revêtue d'une pellicule isolante sur laquelle sont disposées les électrodes fixes des transducteurs et des détecteurs dont l'épaisseur est schématisée en 16 sur la figure 3.

Diverses dispositions d'électrodes sont possibles. En règle générale, on placera au moins deux électrodes (ou deux couples d'électrodes opposés) dans des orientations qui sont mutuellement orthogonales dans un référentiel du mode choisi, c'est-à-dire à 45° l'une de l'autre dans le cas de l'ordre 2. De même, on placera les transducteurs d'application de forces dans deux directions mutuellement orthogonales dans ce même référentiel.

Dans le mode de réalisation de la figure 4, les transducteurs électrostatiques sont définis par deux couples d'électrodes 24_1 et 24_2 alignés suivant deux directions à 45° l'une de l'autre, permettant d'entretenir une vibration d'ordre 2. Les détecteurs sont définis par deux couples d'électrodes 26_1 et 26_2 , également disposés suivant deux directions à 45° l'une de l'autre. Les signaux de sortie prélevés sur les électrodes 26_1 et 26_2 sont appliqués à un circuit électronique de calcul et de puissance 22 qui alimente les transducteurs pour maintenir une amplitude de

vibration constante et fournit un signal de sortie qui, suivant le cas, sera représentatif d'un angle de rotation ou d'une vitesse.

5 De façon à tolérer les erreurs de centrage du résonateur par rapport au substrat et éviter toute influence de la composante radiale de vibration sur le signal de sortie, les électrodes 24 et 26 ont une largeur radiale supérieure à l'épaisseur du bord du résonateur 40, schématisée en 28 sur la figure 4.

10 On voit que toutes les liaisons internes aux capteurs peuvent être réalisées en une seule couche. On voit également qu'il est possible de placer des électrodes de garde 30 suivant le schéma indiqué en tirets de façon à réduire les couplages.

15 Le circuit électronique de mesure et de commande 22 peut avoir des constitutions très variées. Il peut notamment avoir la constitution décrite dans le document EP-A-0 810 418 pour constituer un gyromètre. Il est également possible d'utiliser l'une des constitutions de circuit
20 décrite dans le document EP 0 578 519 permettant d'obtenir un fonctionnement en gyromètre (mesure de vitesse de rotation) ou en gyroscope (mesure d'angle de rotation).

Le capteur peut, toujours en fonctionnant en mode $n = 2$, être prévu avec 16 électrodes plutôt que 8. Il est
25 également possible de faire fonctionner le capteur suivant un mode plus élevé que 2, en augmentant le nombre des électrodes, bien que cette modification présente généralement peu d'intérêt.

En général, on choisira les caractéristiques mécaniques
30 du résonateur de façon qu'il ait une fréquence propre comprise entre 3 kHz et 10 kHz, car la performance diminue au-delà de cette dernière valeur. Un résonateur

hémisphérique ayant un diamètre compris entre 10 et 50 mm a donné de bons résultats. L'amplitude de la vibration peut être réglée de façon à être dans une plage allant de 0,5 à 1 μm . Le résonateur peut être mis à la masse par l'intermédiaire de son support 12. Cependant, dans d'autres cas il peut être préférable de porter le résonateur à un potentiel différent, fixe ou modulé. Le résonateur sera contenu dans un boîtier (non représenté) dans lequel règne une pression réduite, dans la pratique inférieure à 10^{-3} millibar, de façon à réduire l'amortissement gazeux.

Comme on l'a indiqué plus haut, le résonateur peut avoir une forme autre qu'hémisphérique. En particulier, la section du résonateur suivant un plan passant par l'axe peut être en forme de tronçon de parabole ou de tronçon d'ellipse.

Pour augmenter la surface des condensateurs élémentaires formés par les transducteurs et les détecteurs, il est possible de renfler le résonateur à proximité de son bord. La figure 5 montre un résonateur sur lequel ce résultat est atteint en donnant à la surface interne du résonateur une forme cylindrique, sur une longueur h faible par rapport à la profondeur totale du résonateur. Dans le cas de la figure 6, ce résultat est atteint en donnant à la surface interne et à la surface externe une forme qui s'écarte d'une surface sphérique dans une zone h également faible par rapport à la profondeur du résonateur.

Comme il a été indiqué plus haut, les transducteurs et/ou détecteurs peuvent avoir une constitution différente de celle montrée en figure 4. La figure 7 montre par exemple un capteur constitué de deux électrodes placées sur le substrat 10. L'électrode centrale 34 est en forme de bande

radiale. L'autre électrode 36 est en forme de U dont les branches encadrent l'électrode centrale 34. Dans ce cas, la constitution du résonateur est simplifiée, car il n'a pas besoin d'être revêtu d'une couche conductrice. La capacité du condensateur constitué par les électrodes 34 et 36 varie
5 lors des vibrations axiales, du fait que la constante diélectrique du matériau constitutif du résonateur (silice par exemple) est différente de celle de l'atmosphère, généralement à très faible pression, entre le bord du
10 résonateur et les électrodes.

Comme dans le cas de la figure 4, les électrodes 34 et 36 doivent avoir une étendue radiale suffisante pour qu'un léger décentrage du résonateur soit sans effet sur la mesure en dépit de la composante radiale de la vibration du
15 résonateur.

REVENDICATIONS

1. Capteur gyroscopique comprenant :

5 - un résonateur (14) en forme de cloche ou de calotte de révolution, fixé suivant son axe et présentant un bord circulaire situé dans un plan perpendiculaire à l'axe, à distance du point de fixation du résonateur dans le sens axial,

10 - et un substrat (10) portant des moyens de détection et d'excitation coopérant avec le résonateur, caractérisé en ce que les moyens de détection et d'excitation coopèrent avec une composante axiale d'une vibration du résonateur.

15 2. Capteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les dits moyens de détection et d'excitation comprennent des détecteurs et transducteurs ($24_1, 24_2, 26_1, 26_2$) placés sur le substrat, qui est plan et orthogonal à l'axe, en face du bord conducteur du résonateur.

20 3. Capteur selon la revendication 2, caractérisé en ce que les détecteurs et transducteurs comprennent respectivement des électrodes ($26_1, 26_2$) coopérant avec le résonateur pour constituer des détecteurs capacitifs et des électrodes ($24_1, 24_2$) coopérant avec le résonateur pour
25 constituer des transducteurs capacitifs d'excitation.

 4. Capteur selon la revendication 3, caractérisé en ce que la distance au repos entre les électrodes et le bord du résonateur est comprise entre 5 μm et 100 μm .

30 5. Capteur selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce que les électrodes débordent radialement de part et d'autre du bord du résonateur.

6. Capteur selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, destiné à vibrer en mode d'ordre 2, ayant au moins deux jeux d'électrodes de détection ($26_1, 26_2$) alignés suivant deux directions à 45° et deux jeux d'électrodes ($24_1, 24_2$) de transducteurs alignés suivant deux directions à 45° l'une de l'autre.

7. Capteur suivant l'une quelconque des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que le résonateur est constitué en métal ou en silice métallisée.

8. Capteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que le résonateur est fixé au substrat par des moyens constitués d'un matériau ayant sensiblement le même coefficient de dilatation que le résonateur.

9. Capteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que le résonateur est maintenu à un potentiel défini, fixe ou modulé, par l'intermédiaire des moyens de fixation suivant son axe.

10. Appareil de mesure de rotation comprenant un capteur selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, et un circuit électronique (22) recevant le signal de sortie fourni par les électrodes des détecteurs et alimentant les électrodes de transducteurs pour entretenir la vibration en créant des forces à la fréquence de résonance du résonateur et des moyens de calcul de la rotation du résonateur autour de son axe à partir d'un traitement des signaux.

FIG.3.

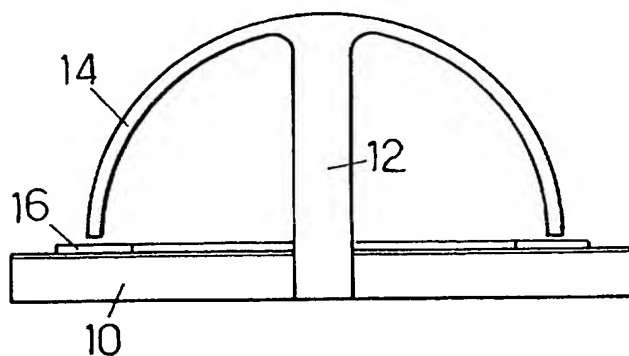


FIG.1.

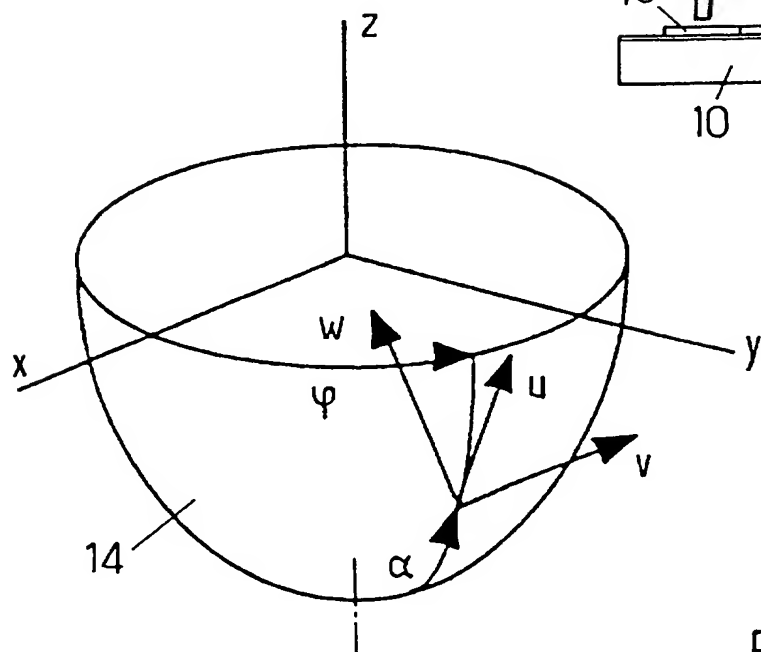


FIG.2.

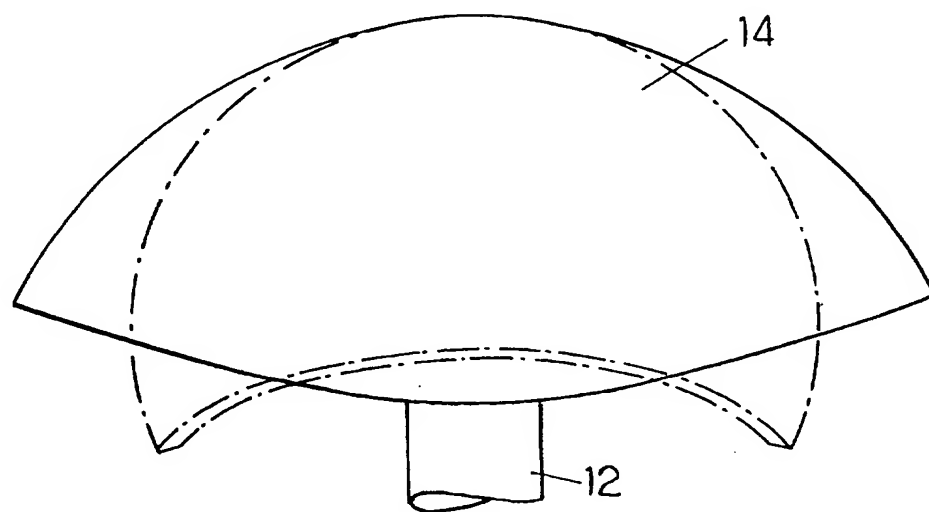


FIG.2A.

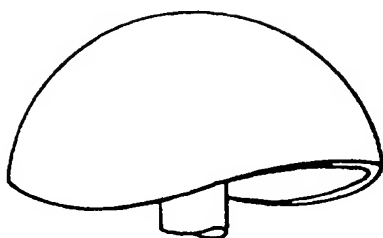


FIG.4.

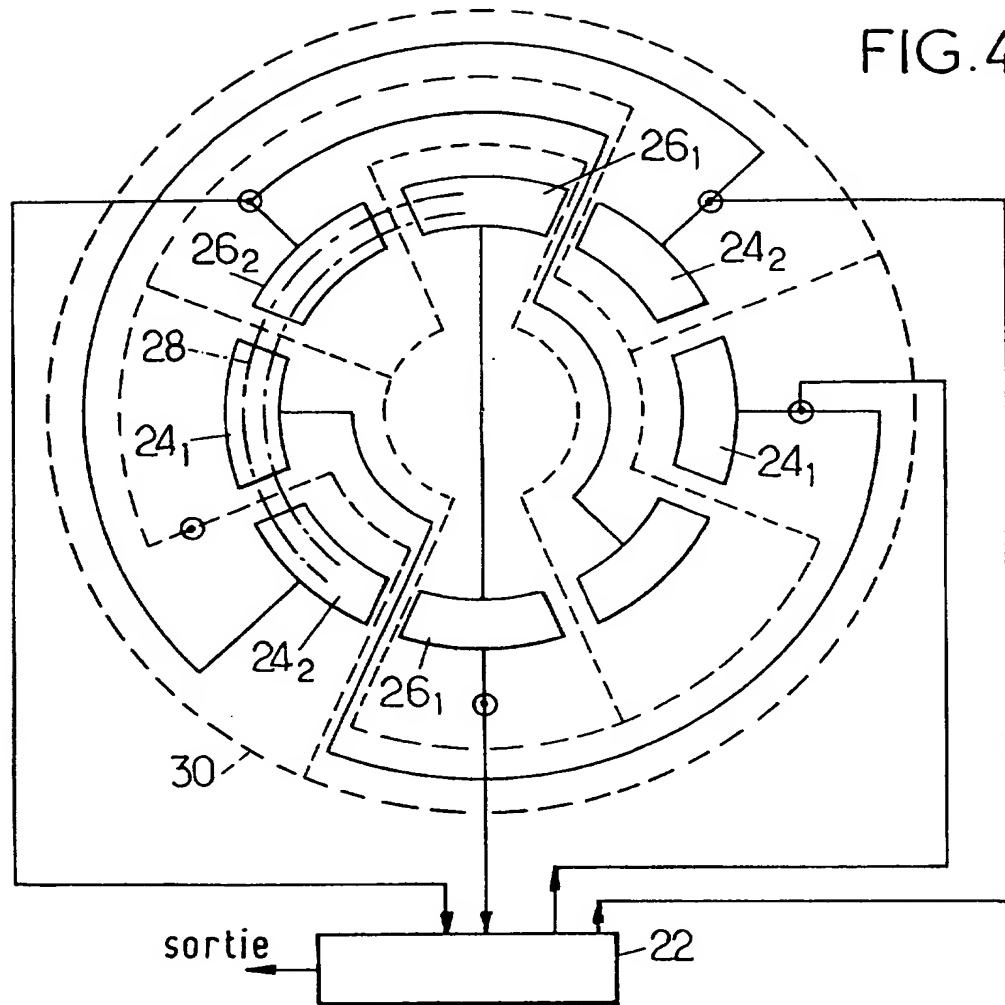


FIG.5.

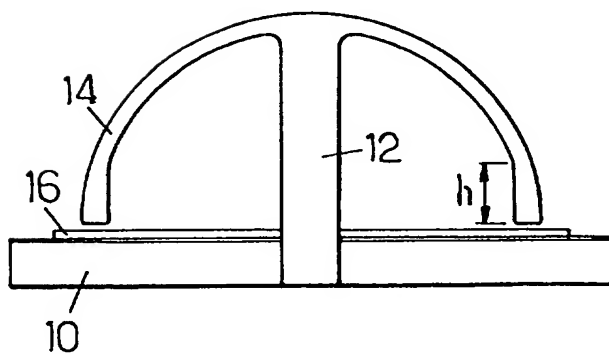


FIG.6.

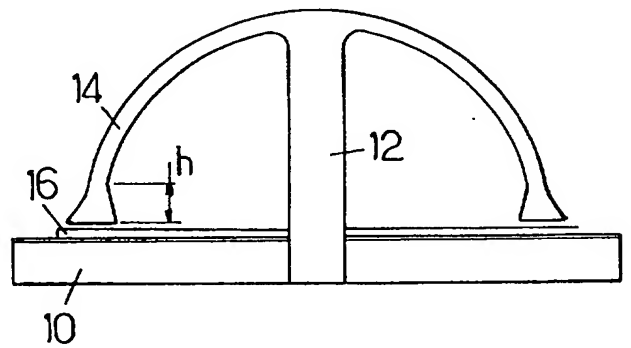
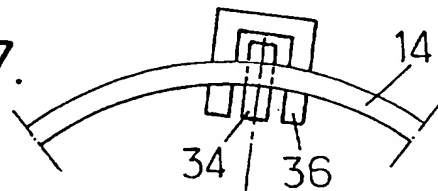


FIG.7.



REPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL

de la

PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE

PRELIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national 2792722

FA 576076
FR 9905204

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

| Catégorie | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes | Revendications concernées de la demande examinée |
|-----------|--|---|
| A | EP 0 175 508 A (MARCONI CO LTD) 26 mars 1986 (1986-03-26) * le document en entier * ----- | 1 |

DOMAINES TECHNIQUES
RECHERCHES (Int.CL.7)

G01C

Date d'achèvement de la recherche

6 janvier 2000

Examineur

Hunt, J

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un
autre document de la même catégorie
A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication
ou arrière-plan technologique général
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure
à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date
de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 03.82 (P04C13)